



Attorney's Docket No. 740116-358

#4  
Priority to  
DRAFTS for  
9-11-03

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re PATENT application of )  
Heinz WALTER et al. ) Group Art Unit: 2635  
Application No. 10/051,297 ) Examiner: Unknown  
Filed: January 22, 2002 )  
For: ELECTRICAL TRANSDUCER )

CERTIFICATE OF MAILING

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service with sufficient postage as First Class Mail in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, Washington, D.C. 20231, on April 11, 2002.

J.M. McManus

CLAIM FOR CONVENTION PRIORITY

Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application in the following foreign country is hereby requested, and the right of priority provided in 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NO.</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
GERMANY	101 02 791.5	JANUARY 22, 2001

In support of this claim, enclosed is a certified copy of said prior foreign application.

Acknowledgment of receipt of this certified copy is requested.

Respectfully submitted,

Dated: April 11, 2002

By: David S. Safran

David S. Safran  
Registration No. 27,997

NIXON PEABODY LLP  
8180 Greensboro Drive, Suite 800  
McLean, Virginia 22102  
Telephone: (703) 770-9300

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 101 02 791.5

**Anmeldetag:** 22. Januar 2001

**Anmelder/Inhaber:** ifm electronic gmbh, Essen, Ruhr/DE

**Bezeichnung:** Elektrischer Messumformer

**IPC:** G 01 D 5/14

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 29. Januar 2002  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Wehner

Gesthuysen, von Rohr & Eggert

00.1278.7.wa

Essen, den 22. Januar 2001

**P a t e n t a n m e l d u n g**

der Firma

i f m electronic gmbh  
Teichstraße 4

45127 Essen

mit der Bezeichnung

**Elektrischer Meßumformer**

## Elektrischer Meßumformer

Die Erfindung betrifft einen elektrischen Meßumformer nach dem Zwei-Leiter-Verfahren, mit einem Sensor für die zu messende Größe, mit einer dem Sensor nachgeschalteten analogen Endstufe und mit einer Prozessor-Schaltung, wobei der Sensor und die analoge Endstufe über einen analogen Meßsignalübertragungsweg miteinander verbunden sind, die Endstufe das Ausgangssignal des Sensors in einen eingepprägten Ausgangsstrom umformt, dessen Größe ein Maß für die zu messende Größe ist, und mit der Prozessor-Schaltung der elektronische Meßumformer steuer- und regelbar ist. Daneben betrifft die Erfindung noch ein Verfahren zum Anzeigen eines Meßwertes durch einen dem Meßwert proportionalen Ausgangsstrom, mit einem elektrischen Meßumformer, wobei der Meßumformer einen Sensor, eine dem Sensor nachgeschaltete analoge Endstufe und eine Prozessor-Schaltung aufweist, die analoge Endstufe das Ausgangssignal des Sensors in einen eingepprägten Ausgangsstrom umformt, dessen Höhe ein Maß für die zu messende Größe ist, und mit Hilfe der Prozessor-Schaltung der elektrische Meßumformer steuer- und regelbar ist.

Elektrische Meßumformer nach dem Zwei-Leiter-Verfahren sind beispielsweise als Drucktransmitter bekannt. Der in den Meßumformer integrierte Sensor weist in der Regel außer dem eigentlichen Sensorelement noch eine Signalaufbereitungseinheit auf. Dabei kann das Sensorelement sowohl für berührende Messung als auch für berührungslose Messung ausgelegt sein. Mit Hilfe des Sensorelements und der dem Sensorelement nachgeschalteten Signalaufbereitungseinheit wird die zu messende Größe in ein zu dieser proportionales, in der Regel linear proportionales, elektrisches Ausgangssignal, beispielsweise ein Gleichspannungs- oder Gleichstromsignal, umgeformt. In einer dem Sensor nachgeschalteten analogen Endstufe, beispielsweise einer steuerbaren Stromquelle, wird das Ausgangssignal des Sensors in einen eingepprägten Ausgangsstrom umgewandelt, welcher das Ausgangssignal des elektrischen Meßumformers darstellt. Dabei stellt dann die Größe des Ausgangsstroms ein Maß für die zu messende Größe dar, beispielsweise für einen zu messenden Druck.

Der Ausgangsstrom ist dabei in der Regel innerhalb eines Bereichs von 0 bis 20 mA oder von 4 bis 20 mA festgelegt, wobei dann ein Ausgangsstrom von 0 bzw. 4 mA den Startpunkt und ein Ausgangsstrom von 20 mA den Endpunkt des Meßbereichs darstellen. Handelt es sich bei dem elektrischen Meßumformer beispielsweise um einen Drucktransmitter mit einem Meßbereich von 0 bis 100 bar, so wird bei einem von dem Sensor gemessenen Druck von 0 bar von dem Drucktransmitter ein Ausgangsstrom von 0 bzw. 4 mA ausgegeben, während bei einem von dem Sensor gemessenen Druck von 100 bar der Ausgangsstrom des Drucktransmitters 20 mA beträgt. Das Verhältnis von gemessenem Druck zu ausgegebenem Ausgangsstrom ist dabei linear, so daß ein Ausgangsstrom von 0 bzw. 4 mA Null Prozent des Meßbereichs und ein Ausgangsstrom von 20 mA Hundert Prozent des Meßbereichs entsprechen.

Der Vorteil eines Ausgangsstrombereichs von 4 bis 20 mA besteht darin, daß ein Ausgangsstrom kleiner 4 mA von einer nachgeschalteten Auswerteeinheit als Fehler des Meßumformers oder als Leitungsbruch erkannt werden kann. Selbstverständlich ist es auch möglich, für den Ausgangsstrom einen anderen Bereich, beispielsweise 5 bis 20 mA zu wählen, wobei sich jedoch ein Ausgangsstrombereich von 4 bis 20 mA als Industriestandard durchgesetzt hat.

Da moderne elektrische Meßumformer in der Regel als systemfähige intelligente Meßumformer ausgebildet sind, mit denen sowohl eine Steuerung und Regelung und damit eine Fehlerkorrektur des Meßwerts, als auch eine Kommunikation mit einer externen Steuer- und Überwachungseinheit möglich ist, weisen derartige elektrische Meßumformer meistens einen Mikroprozessor als Prozessor-Schaltung auf. Derartige Prozessor-Schaltungen können ausschließlich digitale Informationen verarbeiten, so daß es erforderlich ist, daß der elektrische Meßumformer bzw. der Mikroprozessor mindestens einen Analog/Digital-Wandler und mindestens einen Digital/Analog-Wandler aufweist. Der Übertragungsweg derartiger elektrischer Meßumformer besteht somit aus dem analogen Sensor, einem Analog/Digital-Wandler, dem Mikroprozessor, einem Digital/Analog-Wandler und der analogen Endstufe, welche den der zu messenden Größe proportionalen Ausgangsstrom zur Verfügung stellt. Bei derartigen elektrischen Meßumformern nach dem Zwei-Leiter-Verfahren besteht nun das Problem, daß allen elektronischen Bauelementen des

Meßumformers im ungünstigsten Fall lediglich 4 mA zur Stromversorgung zur Verfügung stehen. Daraus folgt, daß konventionelle, preiswerte Mikroprozessoren nur mit einer geringen Zykluszeit betrieben werden können, um den erforderlichen geringen Stromverbrauch des Mikroprozessors zu realisieren. Dies hat jedoch zur Folge, daß mit einem derartigen elektrischen Meßumformer auch nur relativ langsame Änderungen der zu messenden Größe erfaßt werden können. Sollen schnelle Änderungen der zu messenden Größe ohne wesentliche Verfälschungen übertragen werden, muß mit schnellen und somit stromintensiven Mikroprozessoren gearbeitet werden, wobei dann der im ungünstigsten Fall lediglich zur Verfügung stehende Strom von 4 mA nicht ausreichend ist.

Aus der DE 40 16 922 C3 ist ein eingangs beschriebener elektrischer Meßumformer bekannt, bei dem versucht worden ist, den Widerspruch zwischen den Anforderungen an die Verarbeitungsgeschwindigkeit einerseits und den Energiebedarf der Schaltungselemente andererseits dadurch zu lösen, daß der Meßumformer einen analogen Übertragungsweg und einen zu diesem parallel angeordneten, mit dem Sensorausgangssignal gespeisten digitalen Übertragungsweg aufweist, in den die Prozessor-Schaltung eingefügt ist. Der analoge Übertragungsweg dient dabei als Hauptübertragungsweg für das Sensorausgangssignal, während von der Prozessor-Schaltung berechnete Korrekturwerte nach einer Umformung in Analogsignale mit dem analogen Ausgangssignal des Sensors verknüpft werden. Bei dem bekannten elektrischen Meßumformer wird durch die Aufteilung des Übertragungsweges in einen analogen und einen parallel dazu angeordneten digitalen Übertragungsweg zwar die Ansprechgeschwindigkeit des Meßumformers auf schnelle Änderungen der zu messenden Größe erhöht, um jedoch den geforderten niedrigen Stromverbrauch des Mikroprozessors zu realisieren, ist eine niedrige Taktfrequenz und damit eine geringe Verarbeitungsgeschwindigkeit der Prozessor-Schaltung notwendig.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen elektrischen Meßumformer der eingangs beschriebenen Art zur Verfügung zu stellen, der vom Anwender skalierbar ist, einen geringen Eigenstromverbrauch aufweist und dennoch eine große Ansprechgeschwindigkeit gewährleistet, wobei auf spezielle stromarme und damit teure Prozessor-Schaltungen verzichtet werden soll.

Diese Aufgabe ist zunächst und im wesentlichen dadurch gelöst, daß die Prozessor-Schaltung im normalen Betrieb des Meßumformers zeitweise in einen Sleep-Modus versetzt wird, daß im analogen Meßsignalübertragungsweg eine analoge Skaliereinheit eingefügt ist, daß der analogen Skaliereinheit  
5 zum einen das Ausgangssignal des Sensors und zum anderen mindestens ein analoger Einstellwert zugeführt ist und daß das Ausgangssignal der analogen Skaliereinheit der analogen Endstufe zugeführt ist.

Zuvor ist ausgeführt worden, daß der erfindungsgemäße elektrische Meßum-  
10 former skalierbar sein soll, d.h. daß der Meßbereich vom Anwender einstellbar sein soll. Handelt es sich bei dem elektrischen Meßumformer beispielsweise um einen Drucktransmitter und ist der Drucktransmitter werkseitig auf einen Meßbereich von 0 bis 100 bar kalibriert, so bedeutet dies, daß bei einem ein-  
15 geprägten Ausgangsstrom des elektrischen Meßumformer von 4 bis 20 mA der Drucktransmitter bei einem gemessenen Druck von 0 bar einen Ausgangsstrom von 4 mA und bei einem gemessenen Druck von 100 bar einen Ausgangsstrom von 20 mA ausgibt. Wird nun vom Benutzer ein anderer Meßbereich gewünscht, so kann er dies durch Angabe eines neuen Startpunktes und/oder eines neuen Endpunktes einstellen. Soll der Meßbereich beispiels-  
20 weise nur noch von 0 bis 50 bar gehen, so muß das Ausgangssignal des Sensors mit einem Faktor – im vorliegenden Beispiel mit dem Faktor 2 – multipliziert werden, damit bei einem von dem Sensor gemessenen Druck von 50 bar der von dem elektrischen Meßumformer ausgegebene Ausgangsstrom 20 mA beträgt. Dies folgt aus der linearen Beziehung zwischen dem Ausgangsstrom  
25  $I_A$  des Meßumformers und dem Ausgangssignal  $U_P$  des Sensors, die durch folgende Gleichung beschrieben werden kann:

$$I_A = f(U_P) = k \cdot U_P + C$$

30  $k$  = Proportionalitätsfaktor

$C$  = Konstante

Soll nicht nur der Endpunkt, sondern auch der Startpunkt des Meßbereichs  
35 verändert werden, der Meßbereich beispielsweise von 20 bis 60 bar gehen, so muß das Ausgangssignal des Sensors nicht nur mit einem Faktor multipliziert werden, sondern es muß zunächst das Ausgangssignal um eine zum einge-

stellten Startpunkt proportionale Konstante reduziert werden, damit bei einem vom Sensor gemessenen Druck von 20 bar der Ausgangsstrom des Meßumformers 4 mA beträgt. Der Proportionalitätsfaktor muß dann so gewählt werden, daß bei einem vom Sensor gemessenen Druck von 60 bar der maximale Ausgangsstrom von 20 mA fließt.

Wie eingangs bereits ausgeführt worden ist, ist der Stromverbrauch eines Mikroprozessors in der Regel größer als der im ungünstigsten Fall lediglich zur Verfügung stehende Strom von 4 mA. Um den Stromverbrauch der Prozessor-Schaltung – welche in der Regel einem Mikroprozessor aufweist – zu reduzieren, wird bei dem erfindungsgemäßen elektrischen Meßumformer die Prozessor-Schaltung im normalen Betrieb des Meßumformers zeitweise in einen Sleep-Modus versetzt. Ist die Aktivitätszeit der Prozessor-Schaltung, d.h. die Zeit, in der sich die Prozessor-Schaltung nicht im Sleep-Modus sondern im Wach-Modus befindet, wesentlich kürzer als die Zeit, in der die Prozessor-Schaltung im Sleep-Modus verweilt, so kann der Stromverbrauch der Prozessor-Schaltung durch die gewählte Maßnahme im Mittel auf einen Bruchteil des Nonstop-Verbrauchs begrenzt werden.

Durch die zuvor beschriebene Maßnahme, die Prozessor-Schaltung im normalen Betrieb des Meßumformers zeitweise in einen Sleep-Modus zu versetzen, kann zwar der Stromverbrauch der Prozessor-Schaltung auf den erforderlichen Wert reduziert werden, diese Maßnahme führt jedoch gleichzeitig dazu, daß der der Prozessor-Schaltung vorgeschaltete Analog/Digital-Wandler bzw. nachgeschaltete Digital/Analog-Wandler nicht aktiv sein können, wenn sich die Prozessor-Schaltung im Sleep-Modus befindet. Dies würde bei dem eingangs beschriebenen Übertragungsweg – Sensor, Analog/Digital-Wandler, Mikroprozessor, Digital/Analog-Wandler, analoge Endstufe – dazu führen, daß der elektrische Meßumformer einer Änderung der zu messenden Größe nicht mit der gewünschten Ansprechgeschwindigkeit folgen kann. Der erfindungsgemäße elektrische Meßumformer ist deshalb dadurch weiter gekennzeichnet, daß im analogen Meßsignalübertragungsweg eine analoge Skalereinheit eingefügt ist, der zum einen das Ausgangssignal des Sensors und zum anderen mindestens ein analoger Einstellwert zugeführt ist. Dadurch wird erreicht, daß das Ausgangssignal des Sensors nicht nur an der Prozessor-Schaltung vorbei, nämlich über den analogen Meßsignal-übertragungsweg geführt



wird, sondern durch die analoge Skaliereinheit auch eine Skalierung des elektrischen Meßumformers möglich ist. Durch das Anlegen eines analogen Einstellwerts an die analoge Skaliereinheit ist sichergestellt, daß der analoge Einstellwert auch während des Sleep-Modus der Prozessor-Schaltung unverändert anliegt.

Zur Realisierung der analogen Skaliereinheit könnten elektronische Potentiometer eingesetzt werden, welche auch während des Sleep-Modus der Prozessor-Schaltung ihre Widerstandseinstellung nicht verändern und somit die eingestellte Skalierung beibehalten. Nachteilig bei solchen elektronischen Potentiometern ist jedoch, daß sie bei der gewünschten Genauigkeitsanforderung sehr kostenintensiv sind und darüber hinaus auch nur eine begrenzte Auflösung ermöglichen. Vorteilhafterweise ist daher die analoge Skaliereinheit als analoge Rechenschaltung ausgeführt, der als analoger Einstellwert zumindest ein Gleichspannungssignale oder ein Gleichstromsignale zugeführt wird.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist mindestens ein aktiver Integrator als Stellglied für das mindestens eine Gleichspannungssignal oder das mindestens eine Gleichstromsignal vorgesehen, wobei der Integrator einerseits mit der Prozessor-Schaltung und andererseits mit der Skaliereinheit verbunden ist. Vorzugsweise ist dabei der aktive Integrator Bestandteil eines Regelkreis mit der Prozessor-Schaltung. Aufgrund der Speichereigenschaft des Integrators wird die über die Prozessor-Schaltung eingestellte Gleichspannung bzw. der eingestellte Gleichstrom auch während des Sleep-Modus der Prozessor-Schaltung konstant gehalten.

Alternativ zur Erzeugung der vorzugsweise Gleichspannungssignale über die aktiven Integratoren könnten die Spannungen auch über Pulsweitenmodulation erzeugt werden, deren statischer Zustand keine Rechenleistung erfordert und somit auch während des Sleep-Modus der Prozessor-Schaltung durch reine Timer-Logik gehalten werden kann. Hierbei ist jedoch für jede Spannung ein Timer notwendig, so daß der erforderliche Bauteileaufwand insbesondere dann, wenn mehrere Gleichspannungssignale erzeugt werden sollen, relativ hoch ist.

Sind die aktiven Integratoren Bestandteil eines Regelkreises mit der Prozessor-Schaltung, so können eventuelle Abweichungen der tatsächlichen Spannungen an den Integratoren von den eingestellten Spannungen durch die Prozessor-Schaltung während ihrer kurzen Aktivitätszeit korregiert werden.  
5 Die gewünschte mögliche geringe Schrittweite bei der Einstellung der Skalierung, d.h. die hohe Auflösung der Skaliereinheit, kann dadurch erreicht werden, daß für die Prozessor-Schaltung ein Mikroprozessor mit externen oder integrierten 10-bit-Analog/Digital-Wandlern verwendet wird. Es können jedoch auch herkömmliche Mikroprozessoren verwendet werden, welche lediglich 8-bit-Wandler aufweisen, bei denen dann durch Anwendung des in  
10 der DE 199 22 060 A1 beschriebenen Verfahrens eine höhere Auflösung erreicht wird.

Um den bei der Einstellung des Meßbereichs notwendigen Proportionalitätsfaktor mit Hilfe der analogen Rechenschaltung zu realisieren, weist diese  
15 mindestens einen analogen Multiplizierer auf. Ein solcher analoger Multiplizierer kann durch eine analoge Rechenschaltung mit mehreren Transistoren und mehreren Operationsverstärkern realisiert werden. Das Schaltungsprinzip des Multiplizierers basiert dabei auf der Addition von Logarithmen gemäß  
20 folgender Gleichung:

$$\frac{xy}{z} = \exp[\ln x + \ln y - \ln z]$$

Zum Logarithmieren und Exponenzieren wird dabei die Strom/Spannungskennlinie von Halbleiter-Übergängen herangezogen, für die bekanntlich  
25 nach W. Shockley folgender Zusammenhang gilt:

$$I = I_s(T) \left( e^{\frac{K_{Dif}}{mU_T}} - 1 \right)$$

30 mit:

$I$  = Diodenstrom in Durchlaßrichtung

$I_s(T)$  = temperaturabhängiger Speerstrom

35  $m$  = Korrekturfaktor zur Shockleyschen Diodentheorie

$U_T$  = Temperaturspannung

Vorteilhafterweise weist die analoge Rechenschaltung neben dem analogen Multiplizierer zusätzlich noch mindestens einen Subtrahierer und/oder mindestens einen Addierer auf, so daß mit der Skalierung nicht nur der Endpunkt, sondern darüber hinaus auch der Startpunkt des Meßbereichs verändert werden kann. Wie eine solche analoge Rechenschaltung mit einem Multiplizierer und mehreren Subtrahierern und Addierern im einzelnen aufgebaut sein kann, wird weiter unten im Zusammenhang mit der Zeichnung noch ausführlich beschrieben.

Eingangs ist ausgeführt worden, daß der eingeprägte Ausgangsstrom des elektrischen Meßumformers in der Regel 4 bis 20 mA beträgt. Selbstverständlich sind auch andere Werte für den eingepprägten Ausgangsstrom möglich. Zur Erzeugung des von Null verschiedenen minimalen Ausgangsstroms ist vorzugsweise eine Stromquelle vorgesehen.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen elektrischen Meßumformers ist zwischen der Skaliereinheit und der analogen Endstufe ein Dämpfungsglied mit einer vorzugsweise einstellbaren Zeitkonstante geschaltet. Mit Hilfe eines derartigen Dämpfungsglieds können sehr kurzzeitige Schwankungen der zu messenden Größe unterdrückt werden, so daß ein "Flattern" des Ausgangsstroms verhindert wird. Das Dämpfungsglied kann dadurch auf einfache Art und Weise einstellbar gemacht werden, daß es aus unterschiedlichen RC-Gliedern besteht, die wahlweise über die Prozessor-Schaltung zuschaltbar sind. Sollen mit dem Dämpfungsglied relativ große Zeitkonstanten realisiert werden, so sind dafür Kondensatoren mit einem relativ großen Kapazitätswert erforderlich. Mit der Größe der Kapazität eines Kondensators steigt jedoch auch der über den Kondensator fließende Leckstrom sowie der Temperaturkoeffizient des Kondensators, was zu einem Fehler des durch den eingepprägten Ausgangsstroms angezeigten Meßwerts führt. Vorteilhafterweise ist daher das Dämpfungsglied Bestandteil eines Regelkreises mit der Prozessor-Schaltung, so daß ein Fehler am Ausgang des Dämpfungsglieds von der Prozessor-Schaltung erkannt und mit Hilfe eines entsprechenden Korrekturwertes kompensiert wird.

Gemäß einer letzten vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung, die hier noch kurz erwähnt werden soll, ist an dem elektrischen Meßumformer eine dritte

Eingangsklemme als dritter Versorgungsanschluß vorgesehen, die mit einer Detektoreinrichtung verbunden ist, so daß bei Anlegen einer bestimmten Versorgungsspannung an die dritte Eingangsklemme der Meßumformer automatisch von Zwei-Leiter-Betrieb auf Drei-Leiter-Betrieb umschaltet. Ein Drei-Leiter-Betrieb des erfindungsgemäßen elektrischen Meßumformers ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die Prozessor-Schaltung nicht nur zur Einstellung der Start- und Endpunkte des Meßbereichs, d. h. zur Skalierung des Meßumformers benutzt wird, sondern wenn über die Prozessor-Schaltung auch eine Kommunikation mit einer externen Steuer- und Überwachungseinheit oder einem Programmiergerät erfolgen soll. In einem längere Zeit andauernden Kommunikations- bzw. Programmierbetrieb der Prozessor-Schaltung soll die Prozessor-Schaltung zur Erreichung einer ausreichenden Übertragungsrate dauerhaft im Wach-Modus sein. Hierzu ist die Detektoreinrichtung vorteilhafterweise mit der Prozessor-Schaltung verbunden, wodurch die Prozessor-Schaltung ein entsprechendes Informationssignal bekommt, wenn an der dritten Eingangsklemme eine entsprechende Versorgungsspannung anliegt, so daß die Prozessor-Schaltung im Drei-Leiter-Betrieb des elektrischen Meßumformers nicht in den Sleep-Modus geht.

Im einzelnen gibt es nun eine Vielzahl von Möglichkeiten, den erfindungsgemäßen elektrischen Meßumformer auszugestalten und weiterzubilden. Dazu wird verwiesen einerseits auf die dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Patentansprüche, andererseits auf die Beschreibung von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit der Zeichnung. In der Zeichnung zeigen

Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Ausführung eines erfindungsgemäßen elektrischen Meßumformers,

Fig. 2 ein Blockschaltbild eines Teils einer Ausführung eines erfindungsgemäßen elektronischen Meßumformers,

Fig. 3 ein Blockschaltbild eines Multiplizierers, basierend auf logarithmischer Addition,

Fig. 4a ein Schaltbild eines Logarithmierers mit einem Transistor,

Fig. 4b ein Schaltbild eines e-Funktionsgenerators mit einem Transistor,

- Fig. 5a ein Schaltbild einer ersten Ausführung einer analogen Skalier-  
einheit eines erfindungsgemäßen elektrischen Meßumformers,
- 5 Fig. 5b ein Schaltbild einer zweiten Ausführung einer analogen Ska-  
liereinheit eines erfindungsgemäßen elektrischen Meßumformers,
- Fig. 6a ein Blockschaltbild des Versorgungsprinzips eines erfindungs-  
gemäßen elektrischen Meßumformers,
- 10 Fig. 6b ein Schaltbild des Versorgungsprinzips eines erfindungsgemä-  
ßen elektronischen Meßumformers und
- 15 Fig. 7 eine Prinzipdarstellung des Anschlusses eines erfindungsgemä-  
ßen elektrischen Meßumformers an ein Programmiergerät.

Fig. 1 zeigt ein Blockschaltbild einer Ausführung eines erfindungsgemäßen elektrischen Meßumformers 1, welcher als ganzes lediglich schematisch in Fig. 7 dargestellt ist. Der elektrische Meßumformer 1 arbeitet nach dem Zwei-  
20 Leiter-Verfahren, weist einen Sensor 2 zur Erfassung der zu messenden Größe und eine dem Sensor 2 nachgeschaltete analoge Endstufe 3 auf. Der Sensor 2 weist außer dem eigentlichen Sensorelement, welches die Meßgröße in eine proportionale elektrische Größe umwandelt, noch eine Signalaufbereitungseinheit auf. In der Signalaufbereitungseinheit ist in der Regel auch ein Li-  
25 nearisierer enthalten, so daß das am Ausgang des Sensors 2 anstehende Ausgangssignal  $U_p$  linear proportional zur gemessenen Größe, beispielsweise einem Druckwert, ist. In der analogen Endstufe 3, welche beispielsweise durch eine Stromquelle realisiert werden kann, wird das Ausgangssignal  $U_p$  des Sensors 2 in einen eingprägten Ausgangsstrom  $I_A$  umgeformt, dessen Größe  
30 ein Maß für die zu messende Größe ist.

Der elektrische Meßumformer 1 weist darüber hinaus noch eine Prozessor-Schaltung 4 auf, welche zur Programmierung, Steuerung und Regelung des elektrischen Meßumformers 1 dient. Die Prozessor-Schaltung 4 weist mehrere  
35 Analog/Digital Wandler 5 sowie mehrere Push-Pull-Tristate-Ports 6 auf. Bei dem erfindungsgemäßen elektrischen Meßumformer 1 ist die Prozessor-Schaltung 4 nicht seriell zwischen den Sensor 2 und die analoge Endstufe 3 ge-

schaltet, so daß der elektrische Meßumformer 1 einen analogen Meßsignal-  
übertragungsweg 7 aufweist. In dem analogen Meßsignalübertragungsweg 7  
ist eine analoge Skaliereinheit 8 angeordnet, der zum einen das Ausgangssi-  
gnal  $U_P$  des Sensors 2 und zum anderen mindestens ein analoger Einstellwert  
5  $U_1$ ,  $U_3$  zugeführt ist. Das Ausgangssignal  $U_4$  der analogen Skaliereinheit 8  
wird einem Eingang der analogen Endstufe 3 zugeführt. Im normalen Betrieb  
des elektrischen Meßumformers 1 wird die Prozessor-Schaltung 4 zeitweise in  
einen Sleep-Modus versetzt, wodurch der Stromverbrauch der Prozessor-  
Schaltung 4 im Mittel auf ein Bruchteil des Nonstop-Verbrauchs begrenzt  
10 werden kann, wenn die Dauer des Sleep-Modus der Prozessor-Schaltung 4  
wesentlich größer als die Dauer des Wach-Modus ist. Dadurch, daß im analo-  
gen Meßsignalübertragungsweg 7 eine analoge Skaliereinheit 8 angeordnet  
ist, an deren Eingängen nur analoge Werte anstehen, kann die Übertragung  
der zu messenden Größe vom Sensor 2 zur analogen Endstufe 3 sowie die  
15 Umwandlung des Ausgangssignals  $U_P$  des Sensors 2 in einen eingepprägten  
Ausgangsstrom  $I_A$  auch dann erfolgen, wenn die Prozessor-Schaltung 4 sich  
im Sleep-Modus befindet.

Die analogen Einstellwerte, welche zur Skalierung des elektrischen Meßum-  
formers 1 der analogen Skaliereinheit 8 zugeführt werden, werden über ak-  
20 tive Integratoren 9 zur Verfügung gestellt, wobei die aktiven Integratoren 9  
einerseits mit der Prozessor-Schaltung 4 und andererseits mit der analogen  
Skaliereinheit 8 verbunden sind. Die Einstellung der Gleichspannungssignale  
mit Hilfe der aktiven Integratoren 9 wird gesteuert durch die Prozessor-Schal-  
25 tung 4, an deren Push-Pull-Tristate-Port 6 die aktiven Integratoren 9 ange-  
schlossen sind. Durch eine Rückführung der Ausgangssignale der aktiven In-  
tegratoren 9 auf die Analog/Digital-Wandler 5 der Prozessor-Schaltung 4  
können die Gleichspannungssignale geregelt werden, so daß Abweichungen  
der tatsächlichen Gleichspannungssignale von den eingestellten Gleichspan-  
30 nungssignalen korrigiert werden können.

Die analoge Skaliereinheit 8 weist einen analogen Multiplizierer 10 und einen  
analogen Subtrahierer 11 auf. Dadurch ist es möglich, daß sowohl der  
Startpunkt als auch der Endpunkt des Meßbereichs vom Benutzer des elek-  
35 trischen Meßumformers 1 eingestellt werden kann. Hierzu wird das Aus-  
gangssignal  $U_P$  des Sensors 2 und ein Startwert  $U_S$  auf den Subtrahierer 11

gegeben. Der Startwert  $U_S$  wird dabei von der Prozessor-Schaltung 4 in Abhängigkeit des vom Benutzer gewählten Startpunktes des Meßbereichs berechnet. Die Differenz zwischen dem Ausgangssignal  $U_P$  des Sensors 2 und dem Startwert  $U_S$  bildet dann den Restwert  $U_2$ , welcher als zu multiplizierender Wert an den Eingang des Multiplizierers 10 gegeben wird. In Abhängigkeit des gewählten Start- und Endpunktes des Meßbereichs wird ein Proportionalitätsfaktor  $U_1$  auf den zweiten Eingang des Multiplizierers 10 gegeben, so daß als Ausgangssignal des Multiplizierers 10 und damit auch der analogen Skaliereinheit 8 ein Spannungssignal  $U_4$  ansteht, welches auf die analoge Endstufe 3 gegeben wird, die dann einen der gemessenen Größe entsprechenden Ausgangsstrom  $I_A$  bereitstellt.

Nachfolgend soll anhand der Fig. 3 bis 5 der Aufbau der analogen Skaliereinheit 8, insbesondere des analogen Multiplizierers 10, erläutert werden.

Fig. 3 zeigt ein Blockschaltbild eines Multiplizierers 10, basierend auf logarithmischer Addition, bei dem drei Logarithmierer 12, ein Subtrahierer 11, ein Addierer 13 und ein e-Funktionsgenerator 14 verwendet werden. Bei der in Fig. 3 dargestellten Beschaltung der Logarithmierer 12 steht am Ausgang des e-Funktionsgenerators 14 das Produkt  $\frac{x \cdot y}{z}$  an.

Eine einfache schaltungstechnische Realisierung eines Logarithmierers 12 ist in Fig. 4a gezeigt, während Fig. 4b ein Schaltbild eines e-Funktionsgenerators 14 darstellt. Sowohl der Logarithmierer 12 als auch der e-Funktionsgenerator 14 werden dabei jeweils durch einen Transistor 15 und einen Operationsverstärker 16 gebildet. Für die Ausgangsspannung  $U_a$  des Logarithmierers 12 gilt dabei:

$$U_a = -U_T \ln \frac{-U_e}{I_{CS} R_1}$$

und für die Ausgangsspannung  $U_a$  des e-Funktionsgenerator 14 gilt:

$$U_a = I_{CS} \cdot R_1 = e^{\frac{-U_e}{U_T}}$$

Die Fig. 5a und 5b zeigen jeweils ein Schaltbild einer Ausführung einer analogen Skaliereinheit 8, insbesondere eines Multiplizierers 10 des erfindungs-

gemäßen elektrischen Meßumformers 1. Die beiden dargestellten Multiplizierer 10 sind jeweils als Ein-Quadranten-Multiplizierer ausgeführt, welcher dadurch gekennzeichnet ist, daß alle Eingangsspannungen positiv sein müssen und nicht Null werden dürfen. Die Multiplizierer 10 weisen auch jeweils eine  
5 gradzahlige Anzahl von Transistoren 15 auf, wodurch temperaturbedingte Abweichungen der Transistoren 15 besser kompensiert werden können. Besonders vorteilhaft ist es, wenn als Multiplizierer 10 ein monolithisches Transistor-Array 17 verwendet wird, wodurch sich die Temperaturspannung  $U_T$ , der temperaturabhängige Sperrstrom  $I_S$  und der Korrekturfaktor  $m$  gegenseitig  
10 aufheben. Zur Realisierung des Multiplizierers 10 sind lediglich die Transistoren  $T_1$  bis  $T_4$  notwendig, während die Transistoren  $T_5$  und  $T_6$  im Transistor-Array 17 zur Einstellung der Operationsverstärker 16 dienen. Für die in den Fig. 5a und 5b dargestellten Multiplizierer 10 gilt für die durch die Transistoren  $T_1$  bis  $T_4$  fließenden Ströme  $I_1$  bis  $I_4$ :

$$I_4 = \frac{I_1}{I_3} \cdot I_2$$

Die Bestromungsgrößenordnung des Multiplizierers 10, d.h. der von dem Multiplizierer benötigte Strom, wird dabei u.a. durch den Strom  $I_3$  bestimmt,  
20 der als Normierung dient, auf den die anderen Ströme  $I_1$ ,  $I_2$  und  $I_4$  bezogen sind. Die Ströme  $I_1$  und  $I_2$  sind die Multiplikatoren des Multiplizierers 10, wobei der Strom  $I_1$  den einstellbaren Proportionalitätsfaktor und der Strom  $I_2$  den zu multiplizierenden Wert, d.h. den zur Meßgröße proportionalen Wert darstellt. Der Strom  $I_4$  stellt die Ausgangsgröße des Multiplizierers 10 und somit  
25 das Produkt dar.

Während die in Fig. 5a dargestellte analoge Skaliereinheit 8 lediglich aus einem Multiplizierer 10 besteht, zeigt Fig. 5b eine bevorzugte Weiterbildung einer analogen Skaliereinheit 8, mit einem Multiplizierer 10 gemäß Fig. 5a und  
30 einem vorgeschalteten Subtrahierer 11. An den Eingang des Subtrahierers 11 wird zum einen das Ausgangssignal  $U_P$  des Sensors 2, zum anderen ein dem gewählten Anfangswert des Meßbereiches proportionaler Startwert  $U_S$  angelegt. Die Differenz dieser beiden Spannungswerte  $U_P - U_S$  entspricht dem Restwert  $U_2$ , der an einem Eingang des Multiplizierers 10 anliegt.



Ein Nachteil des in Fig. 5a dargestellten Ein-Quadranten-Multiplizierers besteht darin, daß – wie zuvor bereits ausgeführt worden ist – nur im ersten Quadranten multipliziert werden kann, d.h. daß alle Eingangsspannungen des Multiplizierers 10 größer Null sein müssen. Da jedoch dann, wenn auch der Anfangspunkt des Meßbereiches einstellbar sein soll, der Restwert  $U_2$  negativ werden kann, nämlich dann, wenn der Startwert  $U_S$  größer als das Ausgangssignal  $U_P$  des Sensors 2 ist, wird ein konstanter Offset-Strom  $I_{Q1}$  zum Strom  $I_2$  hinzu addiert. Dieser Offset-Strom  $I_{Q1}$  wird mit Hilfe einer Referenzspannung  $U_{REF}$  und eines Widerstandes  $R_{Q1}$  zur Verfügung gestellt. Durch diese Maßnahme wird der Definitionsbereich des Multiplizierers 10 ein Stück in den zweiten Quadranten ausgedehnt, d. h. es kann auch eine negative Eingangsspannung an den Multiplizierer 10 angelegt werden. Da jedoch der Offset-Strom  $I_{Q1}$  – mit dem über die Spannung  $U_1$  eingestellten Proportionalitätsfaktor multipliziert – auf den Strom am Transistor  $T_4$  übertragen wird, führt der Offset-Strom  $I_{Q1}$  zu einer Veränderung des Stromes  $I_4$ . Um eine solche Veränderung des Stromes  $I_4$  und damit einen Fehler zu verhindern, wird ein zusätzlicher Korrekturstrom  $I_{Q2}$  dem Transistor  $T_4$  zugeführt. Der Korrekturstrom  $I_{Q2}$  wird über einen Widerstand  $R_1$  aus der Spannung  $U_1$  abgeleitet. Die beschriebene Zurverfügungstellung des Offset-Stroms  $I_{Q1}$  und des Korrekturstroms  $I_{Q2}$  führt dazu, daß sich die beiden Ströme  $I_{Q1}$ ,  $I_{Q2}$  bezüglich des Verhältnisses Eingangsstrom  $I_2$  zu Ausgangsstrom  $I_4$  vollständig kompensieren, solange der Eingangsstrom  $I_2$  positiv ist, d. h. solange das Ausgangssignal  $U_P$  des Sensors 2 größer als der Startwert  $U_S$  ist. Die Kompensation erfolgt dabei unabhängig von dem über die Spannung  $U_1$  eingestellten Proportionalitätsfaktor, so daß der Offset-Strom  $I_{Q1}$  und der Korrekturstrom  $I_{Q2}$  nicht in das Meßergebnis eingehen. Wird der Eingangsstrom  $I_2$  negativ, so erfolgt eine Überkompensation des Offset-Stroms  $I_{Q1}$  durch den Korrekturstrom  $I_{Q2}$ , was zu einer Meßbereichserweiterung des Multiplizierers 10 in den zweiten Quadranten führt.

Zur Erzeugung eines von Null verschiedenen minimalen Ausgangsstroms  $I_A$  ist eine Stromquelle vorgesehen, welche durch eine Spannung  $U_{04}$  und einen Widerstand  $R_{04}$  einen Strom  $I_{04}$  erzeugt. Durch entsprechende Auswahl der Spannung  $U_{04}$  und des Widerstandes  $R_{04}$  kann somit ein eingepprägter Ausgangsstrom  $I_A$  zur Verfügung gestellt werden, dessen minimaler Strom  $I_{Amin}$  beispielsweise 4 mA beträgt, solange der Eingangsstrom  $I_2$  positiv ist. In Ver-

bindung mit der Zurverfügungstellung des Offset-Stroms  $I_{Q1}$  und des Korrekturstroms  $I_{Q2}$  ist jedoch auch ein minimaler Ausgangsstrom  $I_{Amin}$  kleiner 4 mA, beispielsweise 3,6 mA möglich. Durch die insgesamt anhand der Fig. 5b beschriebenen Maßnahmen, die Realisierung eines Offset-Stroms  $I_{Q1}$ , eines  
5 Korrekturstroms  $I_{Q2}$  und eines Stroms  $I_{Q4}$ , ist es möglich, eine Eindeutigkeit des Signalausgangswerts  $0 \% = 4 \text{ mA}$  zu realisieren. Die Eindeutigkeit des Signalausgangswerts  $0 \% = 4 \text{ mA}$  wird dadurch erreicht, daß die untere Grenze des meßbaren Bereichs kleiner als die untere Grenze des Meßbereichs ist, d.h. durch den Offset-Strom  $I_{Q1}$  ein minimaler Ausgangsstrom  $I_{Amin}$  kleiner  
10 4 mA, beispielsweise 3,6 mA möglich ist. Dadurch wird durch den elektrischen Meßumformer 1 nur dann ein Ausgangsstrom  $I_A$  von 4 mA erzeugt, der für den Benutzer mit der Aussage  $0 \%$  des Meßbereichs verbunden ist, wenn die zu messende Größe tatsächlich der gewählten unteren Grenze des Meßbereichs entspricht. Erst bei einem Ausgangsstrom  $I_A$  kleiner als beispielsweise  
15 3,6 mA erfolgt keine eindeutige Aussage mehr. Ein Ausgangsstrom  $I_A$  von ca. 3 mA oder weniger wird von einer nachgeschalteten Auswerteeinheit dann als Kabelbruch oder Defekt des Meßumformers 1 gedeutet.

Der gewünschte geringe Stromverbrauch des Multiplizierers 10 und damit  
20 auch des gesamten Meßumformers 1 – welcher insgesamt weniger als 4 mA, beispielsweise maximal 3,6 mA betragen darf – kann nun durch geeignete Dimensionierung der einzelnen Bauteile der in Fig. 5b dargestellten analogen Skaliereinheit 8 sichergestellt werden. Der maximale Strom hängt dabei wesentlich von der Größe des Stromes  $I_3$  und des durch die Spannung  $U_1$  einstellbaren maximalen Proportionalitätsfaktors ab. Damit der Ausgangsstrom  $I_4$   
25 nicht zu groß wird, wird der Proportionalitätsfaktor auf einen Wert kleiner 5 beschränkt, was für die Möglichkeit, den elektrischen Meßumformer 1 vom Benutzer skalieren zu können, ausreichend ist. Nachfolgend sollen beispielhaft einige Werte der in Fig. 5b dargestellten Bauteile der Skaliereinheit 8  
30 angegeben werden.

Wird als Referenzspannung  $U_{REF} = U_3$  ein Wert von 2,5 V angelegt, so fließt bei einem Widerstand  $R_3 = 75 \text{ k}\Omega$  ein Strom  $I_3$  von  $33,3 \text{ }\mu\text{A}$ . Der Proportionalitätsfaktor soll maximal 4 betragen, wobei bei einem Proportionalitätsfaktor von 1 eine Spannung  $U_1$  von 0,5 V anliegen soll. Daraus ergibt sich, daß  
35 der Widerstand  $R_1 = 15 \text{ k}\Omega$  betragen muß. Dieser Widerstandswert wird auch

für die Widerstände  $R_2$  und  $R_4$  gewählt. Bei einer maximalen Spannung  $U_{2\max} = 2 \text{ V}$  ergibt sich somit ein maximaler Strom  $I_{2\max} = 133,3 \mu\text{A}$ .

Für den Offset-Strom  $I_{Q2}$  wird eine Größe von 1 % des maximalen Stroms  $I_{2\max}$  gewählt, so daß der erforderliche Offset-Strom  $I_{Q2}$  bei einer Spannung  $U_{Q1} = U_{\text{REF}} = 2,5 \text{ V}$  durch einen Widerstand  $R_{Q1} = 1,875 \text{ M}\Omega$  eingestellt werden kann. Aus der gewählten Größe für den Offset-Strom  $I_{Q1}$  läßt sich – in Abhängigkeit des durch die Spannung  $U_1$  bestimmten Proportionalitätsfaktors – der jeweils erforderliche Korrekturstrom  $I_{Q2}$  und somit der erforderliche Widerstand  $R_{Q2}$  berechnen. Bei einem Proportionalitätsfaktor von 1 – was einem  $U_1 = 0,5 \text{ V}$  entspricht – muß der Korrekturstrom  $I_{Q2}$  dem Offset-Strom  $I_{Q1}$  entsprechen. Daraus ergibt sich ein Widerstand  $R_{Q2} = 375 \text{ k}\Omega$ . Bei den gewählten Werten für die einzelnen Bauteile der in Fig. 5b dargestellten analogen Skaliereinheit 8 folgt somit für den maximalen Ausgangsstrom  $I_4$  des analogen Multiplizierers 10:

$$I_{4\max} = I_{2\max} \cdot \frac{I_{1\max}}{I_3} = I_{2\max} \cdot 4 = 533,3 \mu\text{A}$$

Aus dem in Fig. 1 dargestellten Blockschaltbild des erfindungsgemäßen elektrischen Meßumformers 1 ist zu erkennen, daß der analogen Skaliereinheit 8 ein Dämpfungsglied 18 nachgeschaltet ist. Dieses Dämpfungsglied 18 weist eine einstellbare Zeitkonstante auf, die dadurch realisiert ist, daß das Dämpfungsglied 18 mehrere RC-Glieder 19 aufweist. Die gewünschte Zeitkonstante des Dämpfungsglieds 18 ist dadurch einstellbar, daß ein Ausgang 20 der Prozessor-Schaltung 4 wahlweise mit einem der RC-Glieder 19 verbunden wird. Hierzu wird der Ausgang 20 der Prozessor-Schaltung 4 wahlweise mit einem Fußpunkt eines Kondensator eines RC-Gliedes 19 verbunden.

Der Ausgang des Dämpfungsglieds 18 ist einerseits mit der analogen Endstufe 3 und andererseits mit einem Analog/Digital-Wandler 5 der Prozessor-Schaltung 4 verbunden, so daß durch das Dämpfungsglied 18 auftretende Fehler über eine Regelschaltung mit der Prozessor-Schaltung 4 kompensiert werden können. Hierzu ist die Prozessor-Schaltung 4 über einen weiteren Analog/Digital-Wandler 5 mit dem Ausgangssignal  $U_p$  des Sensors 2 verbunden. Die Prozessor-Schaltung 4 kann so anhand des anstehenden Ausgangssignals  $U_p$  und anhand der eingestellten Parameter den Wert berech-

nen, der am Ausgang des Dämpfungsglieds 18 anstehen müßte. Diesen rechnerischen Wert vergleicht die Prozessor-Schaltung 4 mit dem tatsächlichen Ausgangswert und kompensiert eventuelle Fehler über einen mit der analogen Endstufe 3 verbundenen Endstufen-Offset-Integrator 21.

5

Die Fig. 6a und 6b zeigen ein Blockschaltbild bzw. ein Schaltbild des Versorgungsprinzips des erfindungsgemäßen elektrischen Multiplizierers 1. Im Zwei-Leiter-Betrieb des elektrischen Meßumformers 1 sind lediglich die beiden Eingangsklemmen 22 und 23 angeschlossen, wobei an der ersten Eingangsklemme 22 die positive Versorgungsspannung  $U_{B+}$  und an der zweiten Eingangsklemme 23 die negative Versorgungsspannung  $U_{B-}$  anliegt. Die zweite Eingangsklemme 23 ist mit dem Ausgang der analogen Endstufe 3 verbunden, so daß der eingepreßte Ausgangsstrom  $I_A$  von der ersten Eingangsklemme 22 über den elektrischen Meßumformer 1 zur zweiten Eingangsklemme 23 fließt. Zusätzlich weist der elektrische Meßumformer 1 noch eine dritte Eingangsklemme 24 und eine vierte Eingangsklemme 25 auf. Alle vier Eingangsklemmen 22 bis 25 sind in einem Stecker 26 zusammengefaßt, der mit der Stromversorgung 27 des elektrischen Meßumformers 1 verbunden ist.

20

Wird an die dritte Eingangsklemme 24 eine negative Spannung  $U_p$  bestimmter GröÙer angeschlossen, so schaltet der elektrische Meßumformer 1 automatisch vom Zwei-Leiter-Betrieb in den Drei-Leiter-Betrieb um. Hierzu weist der elektrische Meßumformer 1 eine Detektorschaltung 28 auf, die einen Stromfluß über die dritte Eingangsklemme 24 detektiert. Ist die dritte Eingangsklemme 24 mit der negativen Betriebsspannung  $U_{B-}$  verbunden, so wird dies durch die Detektorschaltung 28 festgestellt, worauf die Detektorschaltung 28 ein Signal an einen Eingang der Prozessor-Schaltung 4 gibt, wodurch die Prozessor-Schaltung 4 dauerhaft im Wach-Modus verbleibt. Der von der Prozessor-Schaltung 4 im Wach-Modus benötigte erhöhte Strom wird über die erste Eingangsklemme 22 und die dritte Eingangsklemme 24 zur Verfügung gestellt, während der eingepreßte Ausgangsstrom  $I_A$  über die zweite Eingangsklemme 23 fließt.

30

Im Zwei-Leiter-Betrieb des elektrischen Meßumformers 1 besteht der Hauptstrompfad zwischen der ersten Eingangsklemme 22 und der zweiten Ein-

35

gangsklemme 23 aus einer Reihenschaltung einer Zenerdiode 29 und der analogen Endstufe 3. Die in Fig. 6b als Stromquelle dargestellte analoge Endstufe 3 regelt den Ausgangsstrom  $I_A$  auf einen Wert von 4 bis 20 mA. Der Zenerdiode 29 ist die gesamte Elektronik parallel geschaltet, d.h. sowohl die analoge Skaliereinheit 8 als auch die Prozessor-Schaltung 4 wird durch den Spannungsabfall an der Zenerdiode 29 mit der internen Betriebsspannung versorgt. Während die analoge Skaliereinheit 8 direkt mit der Anode und der Katnode der Zenerdiode 29 verbunden ist, ist die Prozessor-Schaltung 4 über einen eigenen Stromkreis mit der Zenerdiode 29 verbunden. Dieser Stromkreis weist einen Spannungsregler 30 auf, der über eine Band-Gap-Diode 31 und die Basis-Emitter-Strecke eines pnp-Transistors 32 mit der Anode der Zenerdiode 29 verbunden ist. Der Stromkreis der Prozessor-Schaltung 4 weist außerdem noch einen Speicherkondensator 33 und einen Spannungskomparator 34 auf.

Im Zwei-Leiter-Betrieb des elektrischen Meßumformers 1 wird der von der Prozessor-Schaltung 4 im Wach-Modus benötigte Strom durch Ladung des großzügig dimensionierten Speicherkondensators 33 bereitgestellt. Der Spannungskomparator 34 überwacht den Ladungszustand des Speicherkondensators 33 und veranlaßt bei Unterschreitung der erforderlichen Vorspannung den nachgeschalteten Spannungsregler 30, über dessen Shut-Down-Eingang 35 die Ausgangsspannung  $U_{out}$  des Spannungsreglers 30 auf Null zu stellen und somit den Strom im Stromkreis der Prozessor-Schaltung 4 zu unterbinden. Der Spannungsregler 30 wird erst dann wieder freigeschaltet, wenn die Ladespannung des Speicherkondensators 33 die durch den Spannungskomparator 34 eingestellte Vorspannung übersteigt und somit genügend Strom für die folgende Aktiv-Phase, d.h. den folgenden Wach-Modus, der Prozessor-Schaltung 4 bereitsteht.

Im Drei-Leiter-Betrieb des elektrischen Meßumformers 1 teilt sich der von der Eingangsklemme 22 fließende Strom in den eingepprägten Ausgangsstrom  $I_A$ , der über die Eingangsklemme 23 fließt, und den erhöhten Betriebsstrom, welcher über die dritte Eingangsklemme 24 fließt auf. Ist die dritte Eingangsklemme 24 mit der negativen Spannung  $U_B$  verbunden, so wird durch die Detektoreinrichtung 28 eine Überbrückung des Vorwiderstandes 36 vor dem Speicherkondensator 33 realisiert, um einen zu großen Spannungsabfall am

Vorwiderstand 36 im Dauerbetrieb der Prozessor-Schaltung 4, aufgrund des dann zur Verfügung gestellten erhöhten Betriebsstromes, zu verhindern.

Fig. 7 zeigt schließlich eine Prinzipdarstellung des Anschlusses eines erfindungsgemäßen elektrischen Meßumformers 1 an ein Programmiergerät 35. In  
5 das Programmiergerät 37 kann auch ein Anzeigegerät integriert sein, so daß über das Programmiergerät 37 nicht nur Daten in den elektrischen Meßumformer 1 eingegeben werden können, sondern folglich auch Daten aus dem elektrischen Meßumformer 1 ausgelesen und am Programmiergerät 37 ange-  
10 zeigt werden können. Der Austausch der Daten zwischen dem Programmiergerät 37 und dem elektrischen Meßumformer 1 erfolgt über die vierte Eingangsklemme 25 des elektrischen Meßumformers 1 und einer entsprechenden Ausgangsklemme des Programmiergeräts 37. Die vierte Eingangsklemme 25 ist dazu über eine serielle Schnittstelle 38 mit der Prozessor-Schaltung 4 ver-  
15 bunden. Damit die Prozessor-Schaltung 4 des elektrischen Meßumformers 1 während des Programmier- und Skaliervorgangs dauerhaft im Wach-Modus verbleiben kann, wird die erforderliche Betriebsspannung über das Programmiergerät 37 an der ersten Eingangsklemme 22 und an der dritten Eingangsklemme 24 des elektrischen Meßumformers 1 zur Verfügung gestellt.

20

### Patentansprüche:

1. Elektrischer Meßumformer nach dem Zwei-Leiter-Verfahren, mit einem Sensor (2) für die zu messende Größe, mit einer dem Sensor (2) nachgeschalteten analogen Endstufe (3) und mit einer Prozessor-Schaltung (4), wobei der Meßumformer einen analogen Meßsignalübertragungsweg (7) aufweist, die Endstufe (3) das Ausgangssignal des Sensors (2) in einen eingepprägten Ausgangsstrom umformt, dessen Größe ein Maß für die zu messende Größe ist, und mit Hilfe der Prozessor-Schaltung (4) der elektronische Meßumformer steuer- und regelbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Prozessor-Schaltung (4) im normalen Betrieb des Meßumformers (1) zeitweise in einen Sleep-Modus versetzt wird, daß im analogen Meßsignalübertragungsweg (7) eine analoge Skaliereinheit (8) eingefügt ist, daß der analogen Skaliereinheit (8) zum einen das Ausgangssignal des Sensors (2) und zum anderen mindestens ein analoger Einstellwert zugeführt ist und daß das Ausgangssignal der analogen Skaliereinheit (8) der analogen Endstufe (3) zugeführt ist.
2. Elektrischer Meßumformer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die analoge Skaliereinheit (8) als analoge Rechenschaltung ausgeführt ist, der als analoger Einstellwert ein Gleichspannungssignal oder ein Gleichstromsignal zugeführt ist.
3. Elektrischer Meßumformer nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein aktiver Integrator (9) als Stellglied für das mindestens eine Gleichspannungssignal oder das mindestens eine Gleichstromsignal vorgesehen ist und der aktive Integrator (9) einerseits mit der Prozessor-Schaltung (4) und andererseits mit der analogen Skaliereinheit (8) verbunden ist.
4. Elektrischer Meßumformer nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der aktive Integratoren (9) Bestandteil eines Regelkreises mit der Prozessor-Schaltung (4) sind.
5. Elektrischer Meßumformer nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die analoge Rechenschaltung mindestens einen analogen Multiplizierer (10) aufweist.

6. Elektrischer Meßumformer nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Multiplizierer (10) als Ein-Quadranten Multiplizierer ausgebildet ist.
- 5 7. Elektrischer Meßumformer nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die analoge Rechenschaltung zusätzlich noch mindestens einen Subtrahierer (11) und/oder mindestens einen Addierer aufweist.
- 10 8. Elektrischer Meßumformer nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die analoge Rechenschaltung mehrere Transistoren und mehrere Operationsverstärker aufweist.
- 15 9. Elektrischer Meßumformer nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine Stromquelle zur Erzeugung eines von Null verschiedenen minimalen Ausgangsstroms vorgesehen ist.
- 20 10. Elektrischer Meßumformer nach Anspruch 6 und einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß an den Eingang des Ein-Quadranten-Multiplizierers ein Addierer geschaltet ist und an den Ausgang ein Subtrahierer und ein Addierer geschaltet sind.
- 25 11. Elektrischer Meßumformer nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der analogen Skaliereinheit (8) und der analogen Endstufe (3) ein Dämpfungsglied mit einer vorzugsweise einstellbaren Zeitkonstanten geschaltet ist
- 30 12. Elektrischer Meßumformer nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Dämpfungsglied aus unterschiedlichen RC-Gliedern besteht, die wahlweise über die Prozessor-Schaltung (4) zuschaltbar sind.
- 35 13. Elektrischer Meßumformer nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß ein analoger Fehler am Ausgang des Dämpfungsgliedes durch eine Regelschaltung mit der Prozessor-Schaltung (4) kompensierbar ist.
14. Elektrischer Meßumformer nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß ein dritter Versorgungsanschluß vorgesehen ist und der



dritte Versorgungsanschluß mit einer Detektoreinrichtung verbunden ist, so daß bei Anlegen einer bestimmten Spannung an den dritten Versorgungsanschluß der Meßumformer automatisch auf Drei-Leiter-Betrieb umschaltet.

5     15. Elektrischer Meßumformer nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektoreinrichtung mit der Prozessor-Schaltung (4) verbunden ist und die Prozessor-Schaltung (4) im Drei-Leiter-Betrieb dauerhaft im Wach-Modus verbleibt.

10     16. Verfahren zum Anzeigen eines Meßwertes durch einen dem Meßwert proportionalen Ausgangsstrom, mit einem elektrischen Meßumformer, wobei der Meßumformer einen Sensor, eine dem Sensor nachgeschalteten Elektronikschaltung und eine Prozessor-Schaltung aufweist, die Elektronikschaltung, das Ausgangssignal des Sensors in einen eingepprägten Ausgangsstrom um-  
15     formt, dessen Höhe ein Maß für die zu messende Größe ist, und mit Hilfe der Prozessor-Schaltung der elektronische Meßumformer programmierbar, insbesondere konfigurierbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Prozessor-Schaltung im normalen Betrieb des Meßumformers zeitweise in einen Sleep-Modus versetzt wird, das Ausgangssignal des Sensors einer analogen Skaliereinheit zugeführt wird, der analogen Skaliereinheit zusätzlich mindestens  
20     ein analoger Einstellwert zugeführt wird und das Ausgangssignal der analogen Skaliereinheit der Elektronikschaltung zugeführt wird.

25

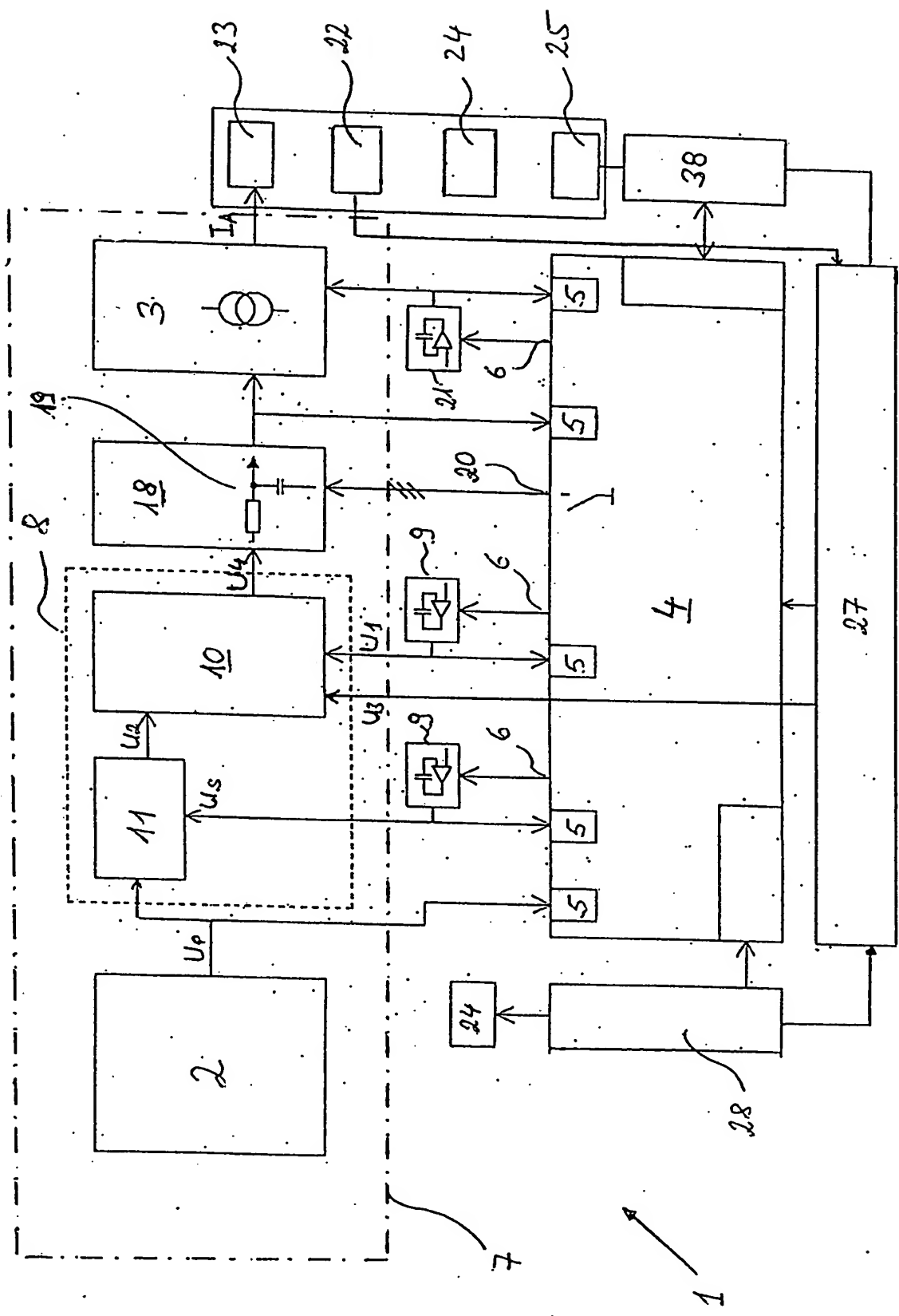


Fig. 1

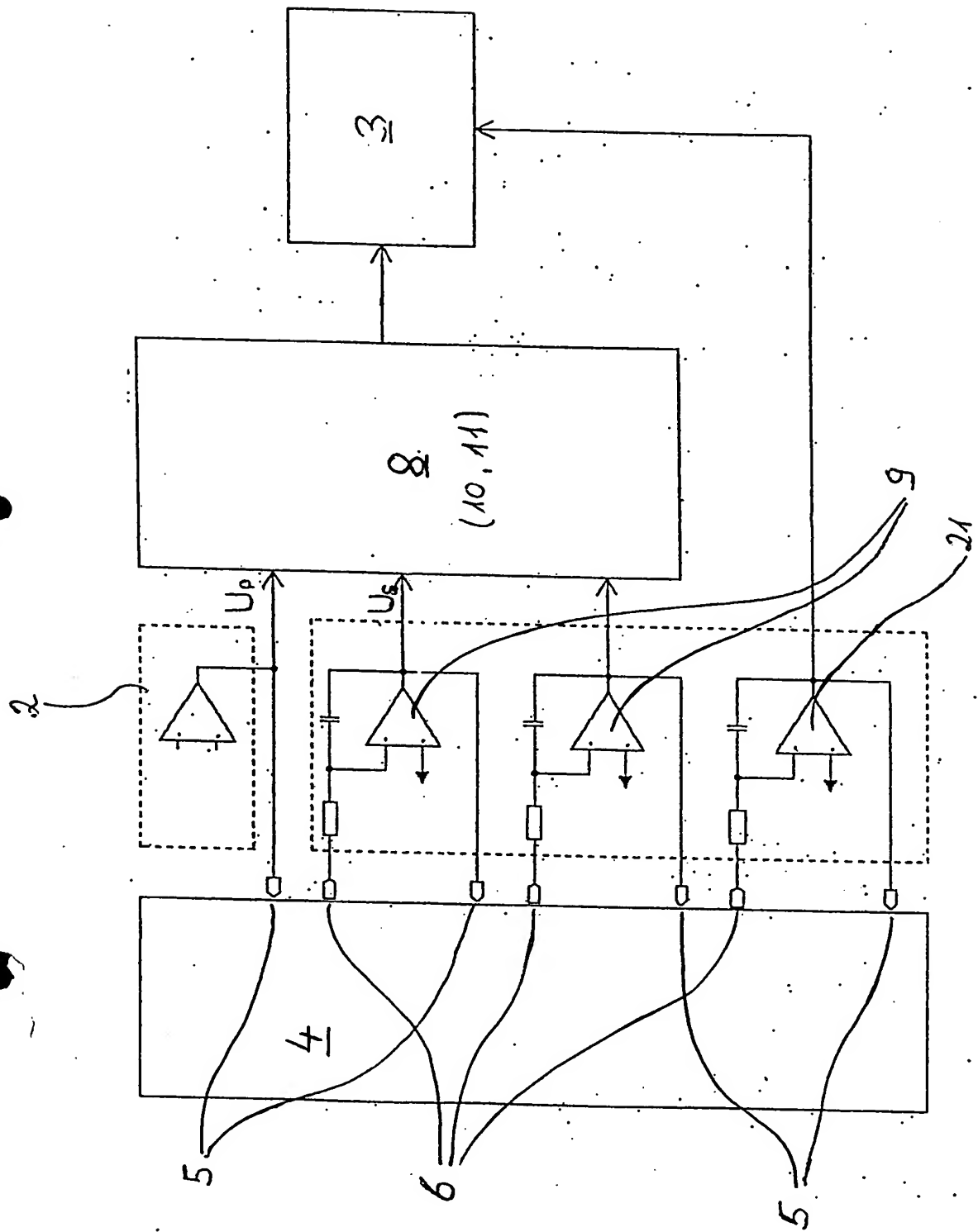


Fig. 2

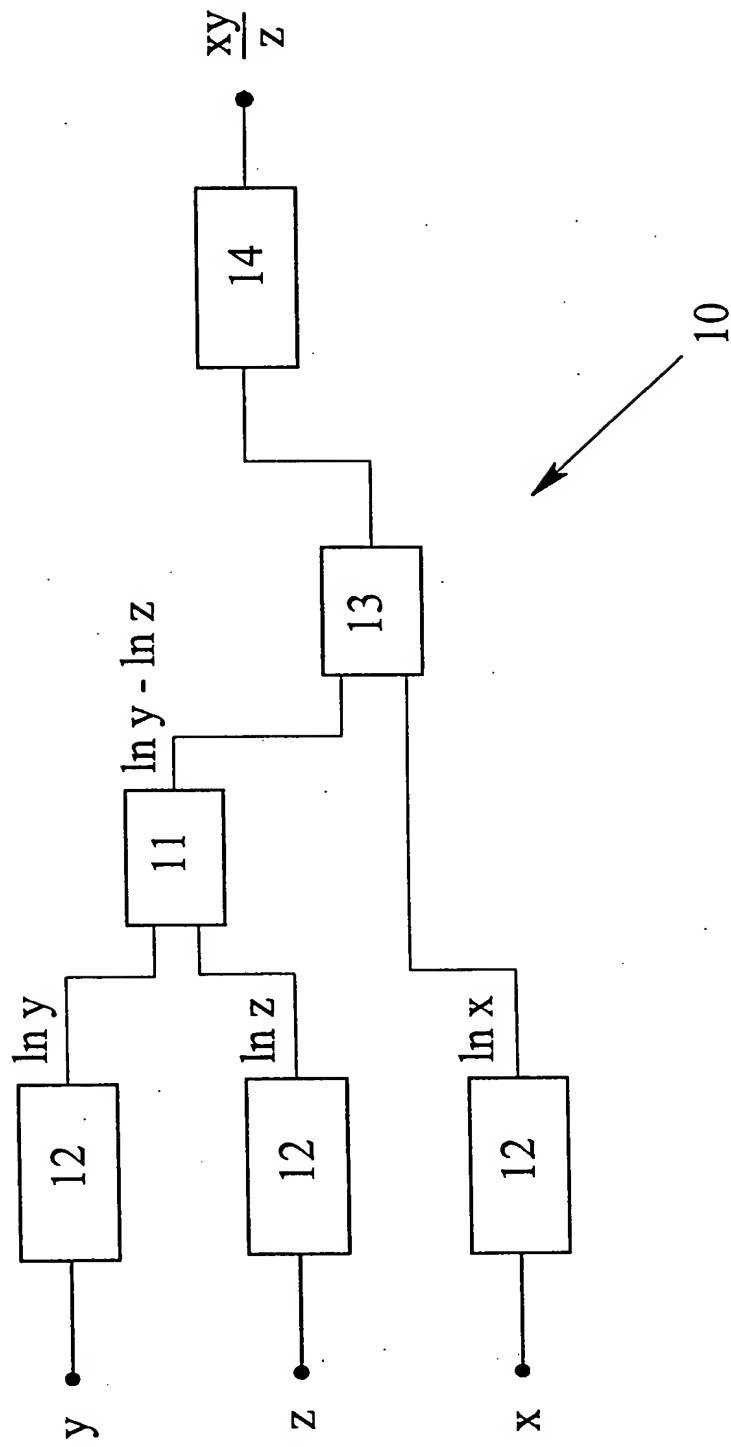


Fig. 3

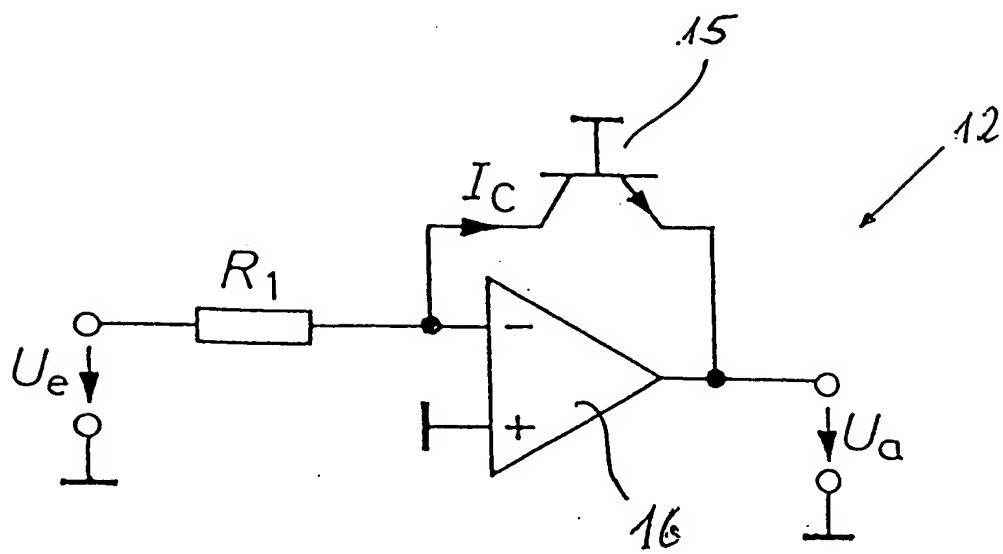


Fig. 4a

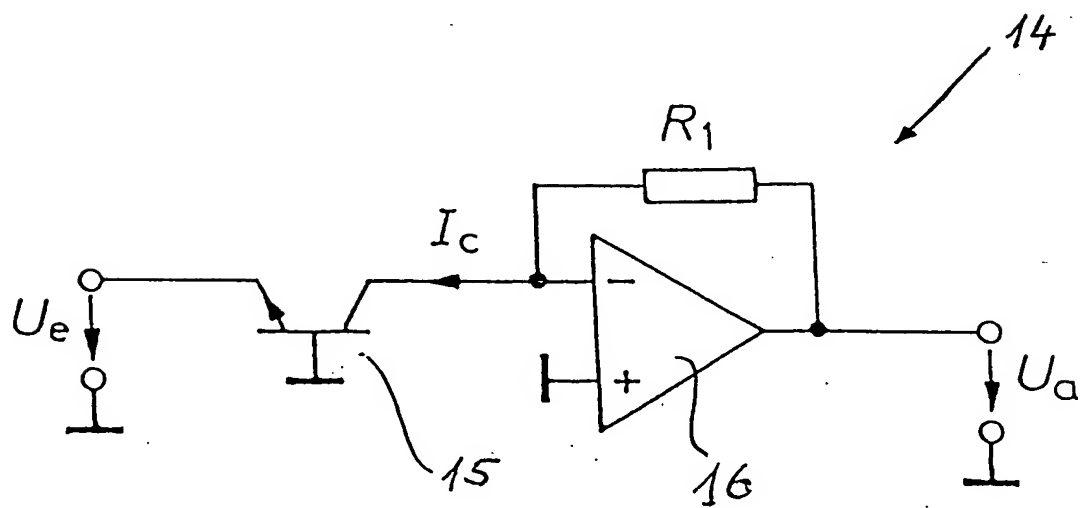


Fig. 4b

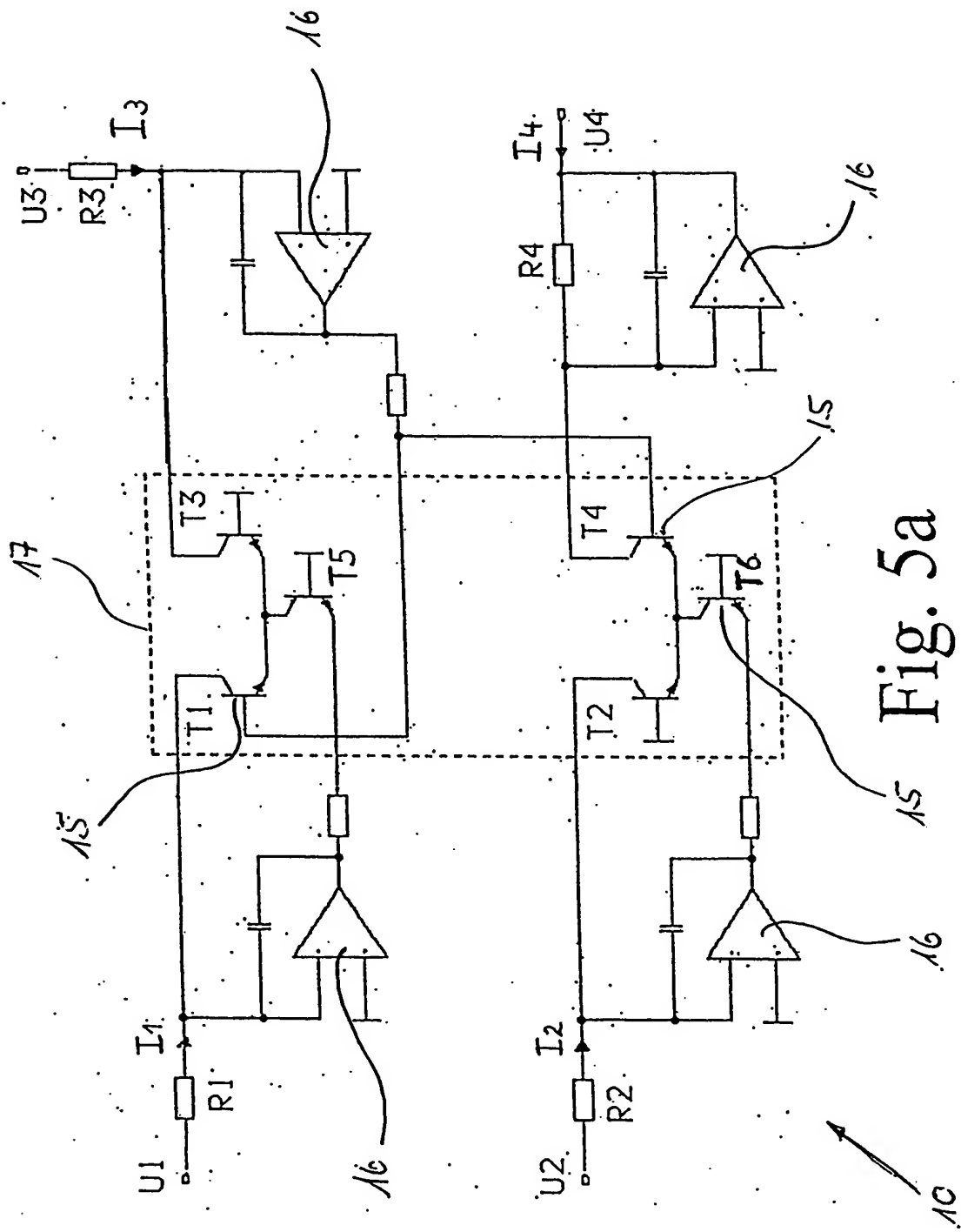


Fig. 5a

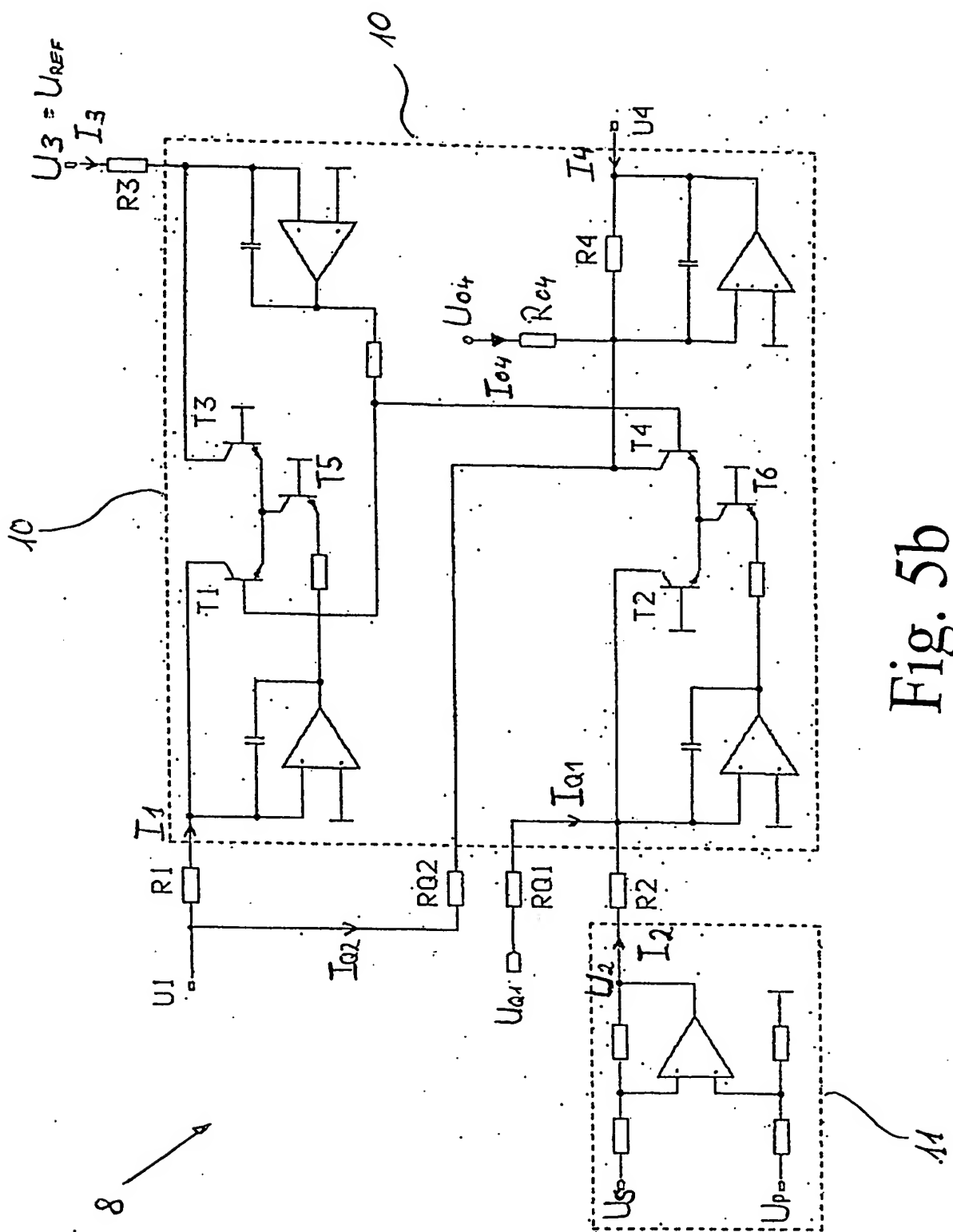
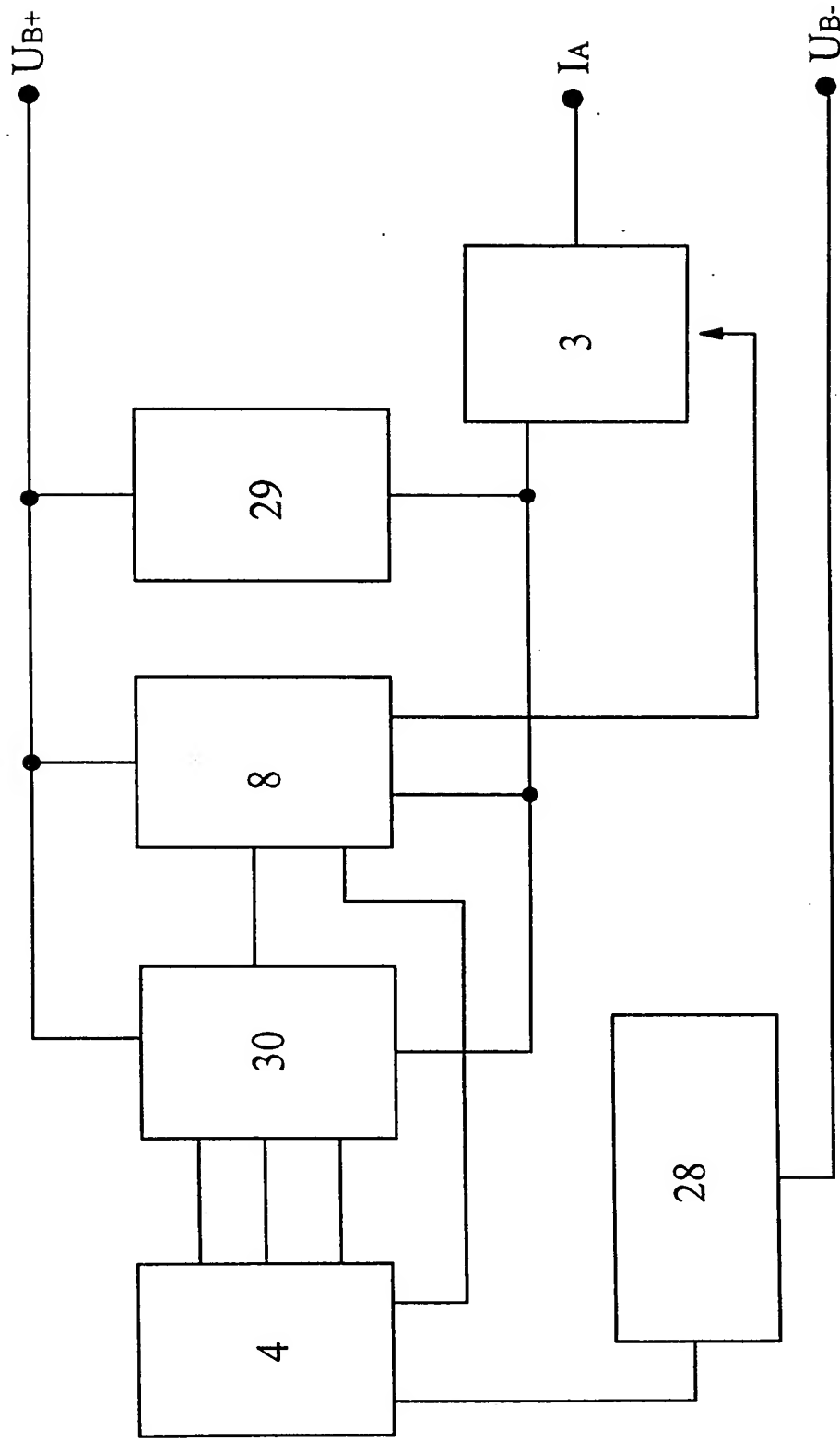


Fig. 5b



10

Fig. 6a



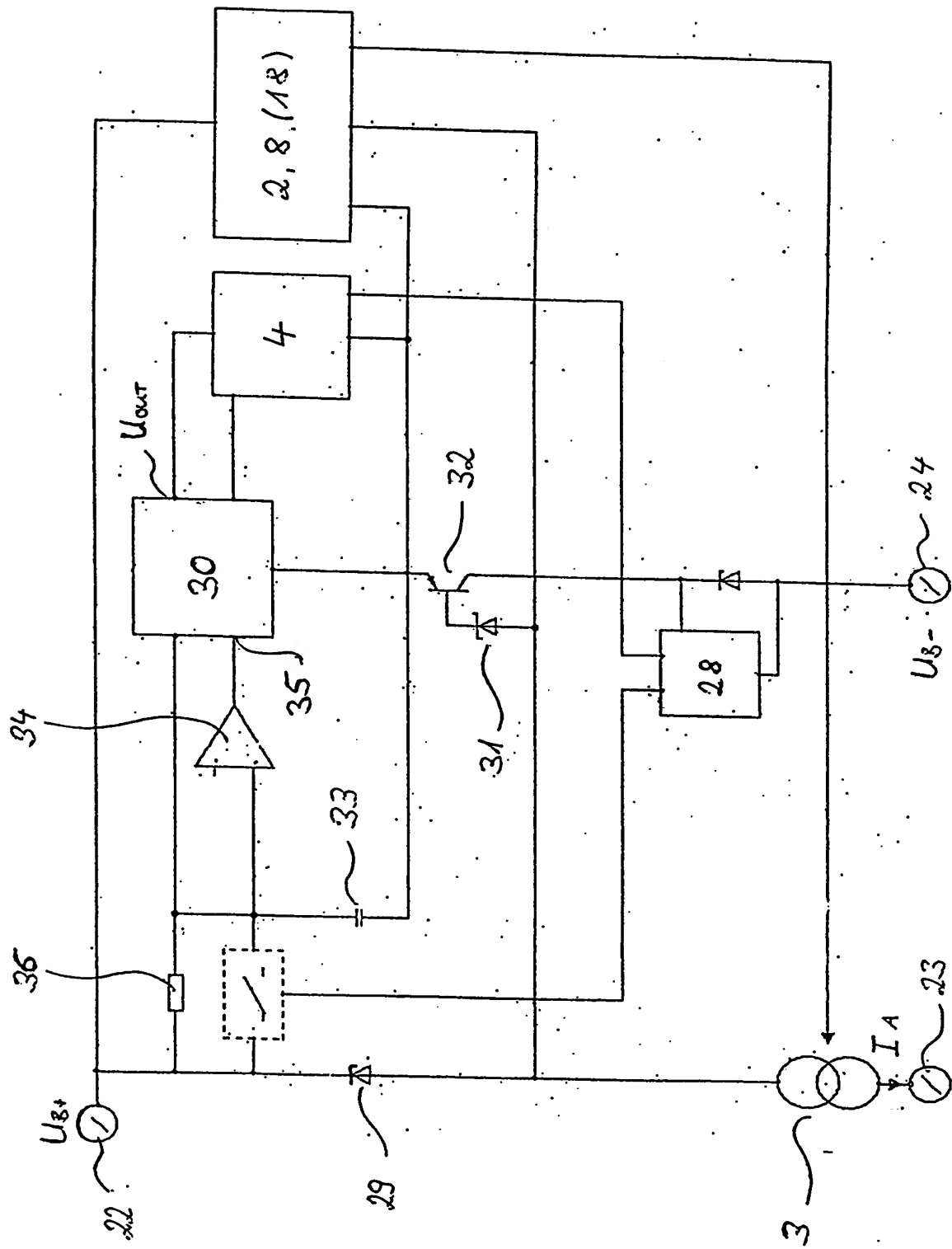


Fig. 6b

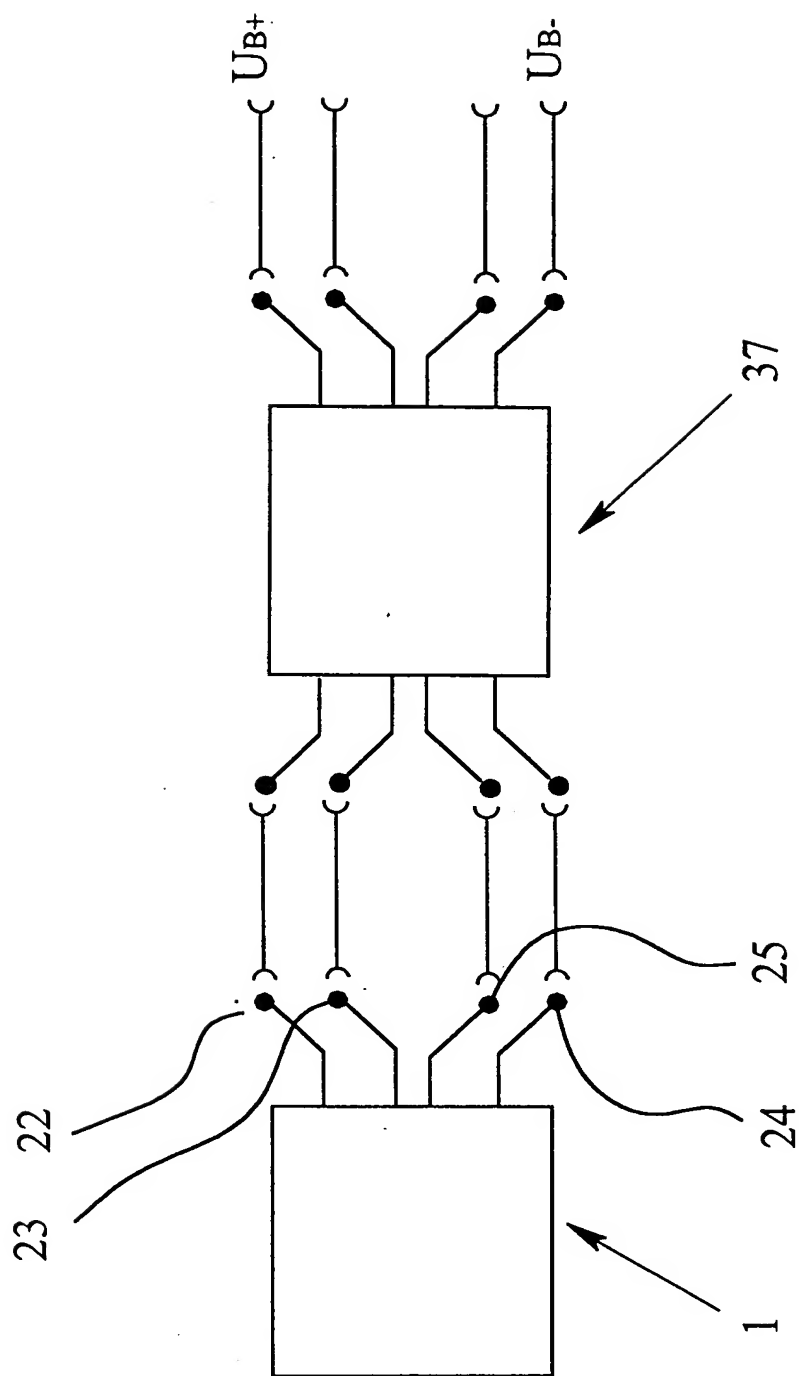


Fig. 7

### **Zusammenfassung:**

5 Dargestellt und beschrieben ist ein elektrischer Meßumformer nach dem Zwei-Leiter-Verfahren, mit einem Sensor (2) für die zu messende Größe, mit einer dem Sensor (2) nachgeschalteten analogen Endstufe (3) und mit einer Prozessor-Schaltung (4), wobei der Meßumformer einen analogen Meßsignalübertragungsweg (7) aufweist, die Endstufe (3) das Ausgangssignal des Sensors (2) in einen eingepprägten Ausgangsstrom umformt, dessen Größe ein Maß für die zu messende Größe ist, und mit Hilfe der Prozessor-Schaltung (4) der elektronische Meßumformer steuer- und regelbar ist.

15 Der elektrische Meßumformer ist dadurch vom Anwender skalierbar ist, weist einen geringen Eigenstromverbrauch auf und gewährleistet dennoch eine große Ansprechgeschwindigkeit, daß die Prozessor-Schaltung (4) im normalen Betrieb des Meßumformers zeitweise in einen Sleep-Modus versetzt wird, daß im analogen Meßsignalübertragungsweg (7) eine analoge Skaliereinheit (8) eingefügt ist, daß der analogen Skaliereinheit (8) zum einen das Ausgangssignal des Sensors (2) und zum anderen mindestens ein analoger Einstellwert zugeführt ist und daß das Ausgangssignal der analogen Skaliereinheit (8) der analogen Endstufe (3) zugeführt ist.

